



УДК 622.276.53

СПОСОБЫ УРАВНОВЕШИВАНИЯ ШГНУ SRPU BALANCE METHODS

Бубнов Матвей Владимирович, аспирант, инженер каф. «Электропривод и автоматизация промышленных установок», Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19. E-mail: m.v.bubnov@urfu.ru, Тел.: +7(922)144-87-05

Зюзов Анатолий Михайлович, д-р. техн. наук, профессор каф. «Электропривод и автоматизация промышленных установок», Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19. E-mail: a.m.zyuzev@urfu.ru. Тел.: +7(912)634-83-63

Matvey V. Bubnov, Graduate student, Engineer, Department «Electric drive and automation of industrial plants», Ural Federal University named after the first President of Russia B.N.Yeltsin, 620002, Mira street, 19, Ekaterinburg, Russia. E-mail: m.v.bubnov@urfu.ru. Ph.: +7(922)144-87-05

Anatoly M. Zyuzev, Doctor Sc., Prof., Department «Electric drive and automation of industrial plants», Ural Federal University named after the first President of Russia B.N.Yeltsin, 620002, Mira str., 19, Ekaterinburg, Russia. E-mail: a.m.zyuzev@urfu.ru. Ph.: +7(912)634-83-63

Аннотация: Рассмотрены способы определения уравновешенности, как параметра, существенно влияющего на энергопотребление штанговой глубиной насосной установки (ШГНУ). Проведен обзор и анализ существующих в настоящее время способов, выявлены их достоинства и недостатки. На основе изученного материала проведено исследование и выработан наиболее оптимальный метод расчета коэффициента уравновешенности. Сделан вывод о перспективах применения полученного метода.

Abstract: Methods for balance determining, such as a parameter significantly affecting power consumption by the sucker-rod pumping unit (SRPU), are considered. An overview and analysis of current methods have been conducted, their advantages and shortcomings are identified. Based on the studied material, the research was carried out and the most optimal method of balance ratio calculation was developed. Conclusion was made on perspectives of application of the obtained method.

Ключевые слова: нефтедобыча; станок-качалка; штанговая глубинная насосная установка; определение уравновешенности; коэффициент уравновешенности; ваттметрограмма.

Key words: crude oil production; pumpjack; sucker-rod pumping unit; balance determination; balance ratio; wattmeter card.

ВВЕДЕНИЕ

Проблема повышения энергоэффективности ШГНУ в настоящее время стоит достаточно остро. В силу того, что ШГНУ используются, как правило, на обедненных скважинах с невысоким дебитом, а таковые составляют достаточно большую долю в России, каждый литр нефти должен быть добыт с минимальными затратами. Уравновешенность станка-качалки в вопросе энергопотребления ШГНУ носит определяющий характер. По вышеозначенным причинам уравновешивание станка стремятся выполнить по минимуму потребляемой энергии.

Регулирование уравновешенности осуществляется перемещением противовеса по кривошипу. Вес противовеса уравновешивает нагрузку на штоке ШГНУ, которая определяется динамическим уровнем, диаметром плунжера, плотностью жидкости и весом штанг в жидкости.

Динамический уровень представляет собой глубину от устья скважины, на которой устанавливается уровень пластовой жидкости в затрубном пространстве при работе насоса. При изменении притока жидкости в скважину, меняется соответственно и динамический уровень, при этом положение противовеса становится неоптимальным, что приводит к дополнительным потерям. Таким образом, до следующего технического обслуживания, при котором будет проведена балансировка станка качалки, установка будет работать с повышенными потерями. Кроме того, определение оптимального положения противовеса, как правило, ведётся по максимальному отклонению стрелки амперметра на ходе штока вверх и вниз [1]. Такая процедура настройки требует неоднократного повторения трудоемкого перемещения противовеса, пока не будет подобрано наиболее оптимальное положение, точность определения которого так или иначе будет невысока.

СУЩЕСТВУЮЩИЕ СПОСОБЫ УРАВНОВЕШИВАНИЯ

Поскольку стандартного подхода к определению уравновешенности станка-качалки в настоящее время не существует, далее рассмотрим различные предлагаемые способы решения данной проблемы. Известны несколько способов определения уравновешенности станка-качалки, отличающихся по своей методологии. В руководствах по эксплуатации нефтяных скважин традиционно даются указания по определению коэффициента уравновешенности с помощью токоизмерительных клещей [2]. Согласно руководству, необходимо определить максимальные значения тока на ходе штока штанговой установки вверх I_B и вниз I_H , затем найти коэффициент неуравновешенности станка-качалки:

$$K_y = \frac{I_B - I_H}{I_B + I_H} \cdot 100\%. \quad (1)$$

Недостаток данного способа заключается в существенной инерционности токоизмерительных клещей, откуда следует погрешность в определении коэффициента уравновешенности и неоднозначность в его значении при сильной разбалансировке станка-качалки.

Известен способ [3], согласно которому в качестве исходных данных использует мгновенные значения тока и напряжения на входе электропривода, на основе которых рассчитывает потребляемую реактивную мощность и проводят её гармонический анализ, а затем находят отношение второй гармоники к первой и значение полученного коэффициента сравнивают с эталонным для данной скважины.

Способ [4] заключается в том, что с эталонным значением среднеквадратичного отклонения полной мощности сравнивают среднеквадратичное отклонение полной мощности, определенное из произведения действующих значений тока и напряжения, вычисленных при минимальном или максимальном смещении штока от точки подвеса и при производной значения давления, не равной нулю, вычисленных по величине перемещения штока и мгновенному значению давления. Недостатками данных способов являются сложность проведения гармонического анализа с использованием процедуры дискретного преобразования Фурье в первом способе, необходимость установки на шток ШГНУ датчиков перемещения и давления во втором, а также необходимость использования эталонных коэффициентов, расчет которых необходимо предварительно проводить для каждой исследуемой установки.

Также известен способ [5], где решение поставленной задачи заключается в измерении мгновенных значения скорости вращения ротора приводного электродвигателя за один период качания, определении минимальных значений мгновенной скорости при подъеме и опускании штока, сравнении этих значений и определении состояния уравновешенности из условия:

$$|V_{1\min} - V_{2\min}| < \frac{0,1 \cdot (V_{1\min} + V_{2\min})}{2}. \quad (2)$$

Недостатком способа является невозможность дать количественную оценку степени уравновешенности.

Согласно способу [6], коэффициент неуравновешенности определяется по максимальным мгновенным значениям активной мощности на ходе штока вверх $P_{B\max}$ и вниз $P_{H\max}$.

$$K_H = \frac{(P_{B\max} - P_{H\max})}{(P_{B\max} + P_{H\max})} \cdot 100\%. \quad (3)$$

Общим недостатком способов [5,6] является то, что для определения уравновешенности используются мгновенные значения скорости или мощности, а не интегральная оценка на периоде качания ШГНУ, такая, как, например, энергия. Это не позволяет получить вполне точный результат по балансировке ШГНУ с точки зрения главного критерия уравновешенности – минимума потребляемой энергии.

В способе [7] в качестве интегрального показателя качества уравновешивания предложен коэффициент уравновешенности по потерям, определяемый отношением средних потерь на ходе штока вверх и вниз:

$$K_{yp,\Delta P} = \frac{\Delta P_{CP,B}}{\Delta P_{CP,H}}, \quad (4)$$

наряду с которым может быть использован коэффициент уравновешенности по среднеквадратичному току:

$$K_{yp,I} = \frac{I_{CP,B}}{I_{CP,H}}. \quad (5)$$

Недостатком способа является то, что при обработке и восприятии информации необходимо оперировать численным значением коэффициента уравновешенности, которое может принимать отрицательные значения, что вызывает определенные трудности для эксплуатирующего персонала. Кроме того, для реализации данного способа предлагается оборудовать механизм датчиком положения или путевыми датчиками для определения моментов прохождения механизмом «мертвых точек», что усложняет конструкцию агрегата и снижает его надежность, поскольку навесные датчики на подвижной конструкции подвержены сильным внешним воздействиям.

Общим недостатком всех указанных выше способов является то, что информация о коэффициенте уравновешенности, получаемая при этом, не содержит конкретных рекомендаций обслуживающему персоналу, куда и на сколько необходимо переместить противовес станка-качалки, поэтому требуется проводить несколько операций последовательного подбора оптимального положения.

МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ УРАВНОВЕШЕННОСТИ

Для разработки метода определения уравновешенности станка-качалки требуется глубокое понимание принципов и закономерностей работы штанговой глубинной насосной установки в целом. Такое понимание может обеспечить подробное изучение математического описания ШГНУ. Поэтому разработанная компьютерная модель представляет собой математическое описание установки, выполненное на языке программирования Паскаль в среде PascalABC.NET, более подробное описание которой давно в работе [8]. Общий вид исследуемой модели ШГНУ типа ПШГН8-3-5500, оснащенной двигателем 4A200L6Y3 (30 кВт, 1000 об/мин), представлен на рисунке 1.

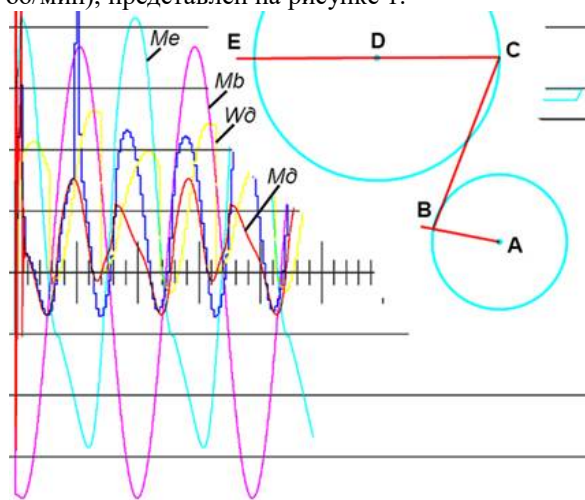


Рис. 1. Общий вид модели ШГНУ в среде PascalABC.NET

Основными параметрами для моделирования являются геометрические размеры элементов конструкции станка-качалки, их массы, параметры упругости штанговой колонны, передаточные отношения редуктора и клиноременной передачи, параметры Т-образной схемы замещения двигателя и параметры силового преобразователя. Она позволяет получать визуальное представление о движении механизма и параллельно выводить динамограмму, ваттметрограмму, диаграмму момента двигателя и её составляющие от противовеса и от оголовка по отдельности, а также расчет энергии, потребляемой за цикл качания.

Основным критерием в определении уравновешенности станка-качалки был выбран показатель минимального энергопотребления. В основу разработки метода положены утверждения отдельных авторов [6,9], а также результаты собственных исследований, из которых следует, что оптимальным условием уравновешивания по минимуму потребляемой электроприводом ШГНУ энергии является равенство энергий, затрачиваемых на подъем и опускание штока. Для проверки данного утверждения в модели ШГНУ при установившемся режиме работы измерялась потребляемая энергия на ход штока вверх и на ход вниз с изменением радиуса расположения противовеса на кривошипе шагом 0,01 метра от одного крайнего положения до другого (повторение подобного эксперимента на реальной установке невозможно в силу конструктивно ограниченного количества мест установки противовеса на кривошипе).

На рисунке 2 представлены расчетные зависимости потребляемой электроприводом ШГНУ энергии от радиуса установки противовеса, полученные при указанных выше условиях моделирования для скважины со следующими параметрами:

глубина спуска насоса – 1142 м.,
динамический уровень – 800 м.

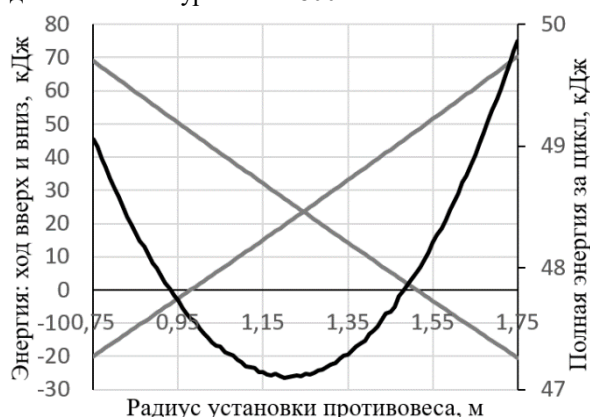


Рис. 2. Графики зависимости потребляемой энергии от положения грузов

Как видно на представленном рисунке 2, графики зависимости энергий, затрачиваемых на подъем и опускание штока, от радиуса расположения противовеса на исследуемом участке представляют собой прямые, а зависимость полной энергии за цикл качания станка-качалки, которая является суммой энергий, затрачиваемых на ход штока вверх и на ход вниз, от радиуса имеет параболический характер. На параболическом графике полной энергии есть точка минимума, координата которой по горизонтальной оси и даёт наиболее оптимальный радиус расположения противовеса $R_{\Pi} = 1,2$ м. Точка пересечения прямых дает значение радиуса $R_{\Pi} = 1,25$ м, при котором равны затраты энергии

на подъем и опускание штока. Как видим, радиусы можно считать приблизительно равными с погрешностью менее 5%, при том, что разница полных энергий за цикл составляет менее 0,1%.

Исходя из принятого положения, метод оценки качества уравнивания включает в себя вычисление энергии W_0 , потребляемой двигателем на ходе штока вверх и на ходе вниз по общему выражению на основе данных о мгновенной мощности двигателя P_0 , формируемых в контроллере преобразователя частоты:

$$W_0 = \int_{t=0}^{T_0} P_0 dt, \quad (6)$$

где T_0 – временной интервал интегрирования (длительность подъема или опускания штока), dt – шаг интегрирования по времени при численном интегрировании.

Для разделения значений энергии на ходе вверх – W_B и на ходе вниз – W_H необходимо выполнять интегрирование мощности по выражению (1) на интервале движения штока вверх – $T_0 = t_0$ и вниз – $T_0 = t_n$, что требует наличия в системе датчика прохождения «мертвых точек» либо алгоритма их определения. Алгоритму определения «мертвых точек» по ваттметрограмме будут посвящены дальнейшие исследования.

Оценку качества уравнивания для наглядности рекомендуется формировать в виде числового значения коэффициента уравниваемости $K_{ур}$:

$$K_{ур} = \begin{cases} \frac{W_B}{W_H} + 1 \\ \frac{W_H}{W_B} + 1 \end{cases} \cdot 100\%, \text{ при } |W_B| \leq |W_H|; \quad (7)$$

Очевидно, идеальному уравниванию соответствует значение коэффициента $K_{ур} = 100\%$. При $K_{ур} < 100\%$ установка считается неуравновешенной, причём чем меньше $K_{ур}$, тем сильнее разбалансирована ШГНУ. Небольшое отклонение $K_{ур}$ от 100% при работе ШГНУ допускается, необходимость остановки станка и перемещения противовеса в более оптимальное положение определяется в каждом конкретном случае текущими приоритетами и техническими возможностями. Минимальное значение $K_{ур} = 0\%$ не достижимо на практике в силу конструктивного ограничения диапазона перемещения противовеса на кривошипе. Из формулы 7 также следует, что нет необходимости определять, при подъёме или при опускании штока измерена энергия, достаточно подставить в формулу два последовательных значения энергии за полуцикл согласно указанному условию.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В ходе работы были собраны и изучены существующие подходы к диагностированию уравниваемости ШГНУ. Анализ существующих способов позволил выявить основные недостатки применяемых решений и позволил сформировать направление дальнейшего исследования. На основе полученных результатов была разработана компьютерная модель ШГНУ, которая позволила получить метод расчета коэффициента уравниваемости станка-качалки.

Сформированный метод может являться частью систем диагностики ШГНУ и может быть адаптирован для использования в интеллектуальных станциях управления.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Привод штанговых глубинных насосов, Паспорт ПШГН.00.000.ПС. Уралтрансмаш, Екатеринбург. 1991.
2. Руководство по эксплуатации скважин штанговыми насосами. Альметьевск: АО «Татнефть». 1992. – 440 с.
3. Авторское свидетельство RU 2227848 (Гольдштейн Е.И., Исаченко И.Н., Полякова С.В., «Способ диагностирования уравниваемости станков-качалок штанговых насосных установок»)
4. Авторское свидетельство RU 2621435 (Тимофеев А.О., Ясовеев В.Х., «Способ определения неуравновешенности станка-качалки скважинной штанговой насосной установки»).
5. Авторское свидетельство RU 2334897 (Ушаков В.С., Демянченко Н.А., «Способ диагностирования уравниваемости привода штангового глубинного насоса»).
6. Хакимьянов М.И. Удельный расход электроэнергии при механизированной добыче нефти штанговыми глубиннонасосными установками // Вестник УГАТУ. 2014. Т. 18. №. 2 (63). С. 54-60 (С. 57, Влияние сбалансированности на потребляемую мощность).
7. Зюзев А.М. Развитие теории и обобщение опыта разработки автоматизированных электроприводов агрегатов нефтегазового комплекса : дис. на соиск. учен. степ. д-ра техн. наук : 05.09.03 / А.М. Зюзев ; Урал. гос. техн. ун-т - УПИ. – Екатеринбург, 2004
8. Zyuzev A.M., Bubnov M.V. Mudrov M.V. Sucker-Rod Pump Unit Electric Drive Simulator // 2nd International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing, (ICIEAM). 2016.
9. Хакимьянов М.И. Зависимость энергопотребления штанговых глубинных насосов от технологических параметров скважин / М.И. Хакимьянов, Ф.Ф. Хусаинов, И.Н. Шафиков // Нефтегазовое дело – 2015. – № 1. – С. 533–563.